

FERNANDO DONOSO PEGORETTI

**VALIDAÇÃO DE SISTEMA AUTOMÁTICO DE AMOSTRAGEM PARA
FINS DE RECONCILIAÇÃO**

São Paulo

2015

FERNANDO DONOSO PEGORETTI

**VALIDAÇÃO DE SISTEMA AUTOMÁTICO DE AMOSTRAGEM PARA
FINS DE RECONCILIAÇÃO**

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas do curso de graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Orientadora: Prof. Dra. Ana Carolina Chierigati

São Paulo

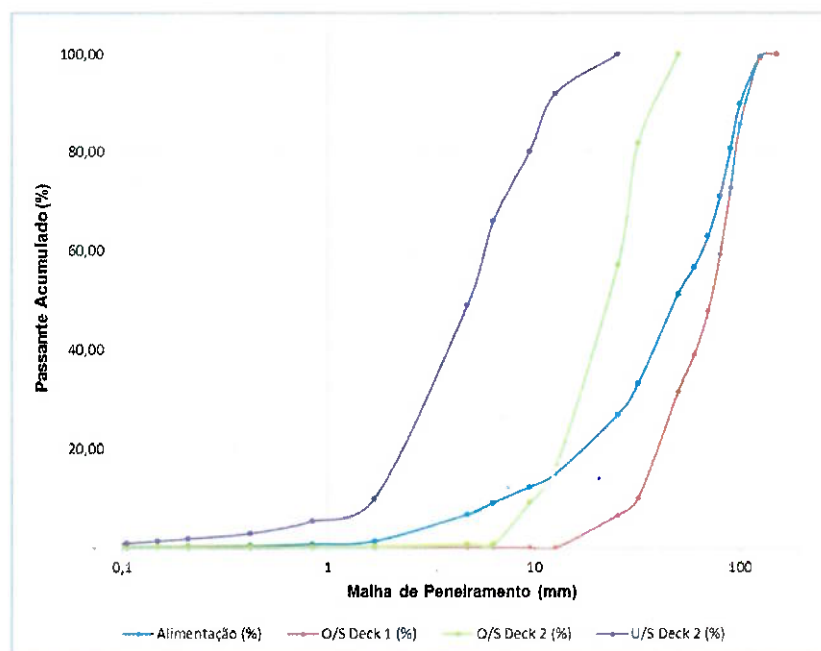
2015

Tabela 17: Cálculo do Balanço de Massa do Peneiramento Secundário do Cenário 1. (Conclusão)

Balanço de Massa Cenário 1 - Passante Acumulado					
Alimentação (%)	O/S Deck 1 (%)	U/S Deck 1 (%)	O/S Deck 2 (%)	U/S Deck 2 (%)	
100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
99,47	99,25	100,00	100,00	100,00	100,00
89,72	85,55	100,00	100,00	100,00	100,00
80,58	72,70	100,00	100,00	100,00	100,00
70,97	59,19	100,00	100,00	100,00	100,00
62,85	47,77	100,00	100,00	100,00	100,00
56,66	39,06	100,00	100,00	100,00	100,00
51,25	31,46	100,00	100,00	100,00	100,00
33,18	9,98	90,33	81,70	100,00	100,00
26,91	6,46	77,31	57,07	100,00	100,00
15,01	0,08	51,79	16,06	91,88	91,88
12,32	0,07	42,49	9,02	80,04	80,04
9,13	0,07	31,44	0,66	65,97	65,97
6,81	0,07	23,44	0,59	49,07	49,07
1,40	0,06	4,71	0,15	9,81	9,81
0,78	0,03	2,60	0,14	5,36	5,36
0,43	0,02	1,45	0,14	2,93	2,93
0,28	0,01	0,93	0,12	1,83	1,83
0,21	0,01	0,69	0,09	1,36	1,36
0,14	0,01	0,47	0,07	0,93	0,93
0,08	0,00	0,28	0,04	0,56	0,56
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaboração Própria.

Figura 14: Gráfico da % Passante Acumulada do Peneiramento Secundário do Primeiro Cenário.



Fonte: Elaboração Própria.

TF-2015

P349v

Sysno 2452503

H 2015v

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700010000

Catálogo-na-publicação

Pegoretti, Fernando Donoso

Validação de sistema automático de amostragem para fins de
reconciliação / F. D. Pegoretti -- São Paulo, 2015.

47 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo.

1.Equipamentos de mineração (análise) 2.Amostragem 3.Ouro 4.Cobre
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia de Minas e Petróleo II.t.

AGRADECIMENTOS

À Prof. Dra. Ana Carolina Chierigati, por sua dedicação, orientação e disponibilidade na elaboração deste trabalho.

Aos engenheiros Edson Luiz Rodrigues e Luiz Eduardo Campos Pignatari e às geólogas Luiza e Bárbara, que prestaram todo o apoio para que as atividades na Mineração Maracá fossem possíveis.

À minha mãe, Joana, pela companhia e confiança. Ao meu pai, Celso, que hoje, mesmo em algum lugar distante, está presente em minha vida.

Agradeço a todos os professores e também aos meus amigos, em especial os da Associação Atlética Acadêmica Politécnica (AAP) e os do curso de Engenharia de Minas, que participaram da minha vida acadêmica. Com ensinamentos, conselhos e momentos de descontração, tornaram o meu dia-a-dia mais saudável nos últimos anos.

RESUMO

Na indústria mineral atual, perdas econômicas relevantes podem ser ocasionadas pela utilização de dados inconsistentes no planejamento e na tomada de decisão. As práticas de reconciliação, que consistem na comparação entre massa e teor de minérios estimados a partir de modelos geológicos e massa e teor produzidos nas usinas de beneficiamento, têm o objetivo principal de avaliar o desempenho do processo vide as metas iniciais. Tais práticas mostram-se cada vez mais importantes para um empreendimento mineiro uma vez que, quando realizadas corretamente, diminuem as perdas do negócio a partir da otimização das operações de lavra e beneficiamento do minério e aumentam a confiabilidade no planejamento de curto prazo. A utilidade da reconciliação depende diretamente da qualidade e confiabilidade dos dados de entrada, gerados por diferentes métodos de amostragem. Os procedimentos apresentados por Pierre Gy, em sua teoria da amostragem, são fundamentais para a obtenção de amostras precisas e acuradas. O presente trabalho visa validar uma perfuratriz com mecanismo de limpeza por circulação reversa e sistema automático de amostragem, utilizada em uma mina de cobre e ouro em Goiás, a partir da análise dos teores das amostras geradas e comparando-os aos resultados provenientes de furos de sondagem, de modo a minimizar os erros de estimativa de teores e aumentar a confiabilidade do modelo de curto prazo para fins de reconciliação.

Palavras-chave: Amostragem automática. Sistema de circulação reversa. Reconciliação.

ABSTRACT

In the current mineral industry, relevant economic losses can occur due to the usage of inconsistent data in mine planning and decision making processes. Reconciliation practices, which consists on comparing tonnage and mineral content estimated from geological models and tonnage and mineral content produced in processing plants, aim to evaluate the process performance compared to the initial goals. Such practices are becoming increasingly important for mining projects since, when correctly performed, they reduce business losses based on the optimization of mining and processing operations, and increase reliability in the short-term planning as well. The usefulness of reconciliation methods depends directly on the quality and reliability of input data, generated by different sampling methods. The procedures presented by Pierre Gy in his sampling theory are essential for obtaining precise and accurate samples. This study aims to validate a reverse circulation drill rig with automatic sampling system used in a copper and gold mine in Goias, Brazil, starting with the analysis of the ore grades from the RC drill samples and comparing them to the results obtained by diamond drill holes, in order to minimize the ore grades estimation errors and increase the reliability of the short-term model for reconciliation purposes.

Keywords: Automatic sampling. Reverse circulation system. Reconciliation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVO.....	8
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	8
3.1. Amostra.....	8
3.2. Amostragem	9
3.2.1. Amostragem de metais preciosos	10
3.2.2. Tipos de erros associados à amostragem	10
3.3. Amostragem por perfuratriz com circulação reversa	13
3.4. Heterogeneidade	15
3.5. Precisão, acurácia e representatividade da amostra	16
3.5.1. Precisão.....	16
3.5.2. Acurácia	17
3.5.3. Representatividade.....	18
3.6. Reconciliação	18
3.7. Conceito QA-QC	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
4.1. Estudo de caso: Maracá	20
4.2. Escopo do trabalho.....	22
4.3. Perfuratriz – Atlas Copco ROC L8 RC	23
4.4. Furos gêmeos: perfuratriz vs. sonda	25
4.5. Amostra e duplicata: perfuratriz	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1. Furos gêmeos.....	30
5.1.1. Ouro	30
5.1.2. Cobre	33
5.2. Amostra e duplicata.....	36
5.2.1. Ouro	37
5.2.2. Cobre	38
6. CONCLUSÃO	39
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
APÊNDICE A – Fórmula de Gy	42
APÊNDICE B – Teores: Amostra e Duplicata	44

1. INTRODUÇÃO

Define-se amostragem como uma sequência de operações que tem por objetivo retirar uma parte significativa, ou amostra, de um dado universo (CHAVES, 2012). A amostragem é uma operação fundamental na mineração, presente nas fases de avaliação de recursos e reservas, implantação, operação, planejamento de curto prazo e reconciliação.

A reconciliação pode ser entendida como a comparação entre uma estimativa e uma medição, segundo Chierigati (2007). A estimativa incorreta de teores, baseada em amostras incorretas, gera sérios problemas de reconciliação, que implicam, anualmente, em enormes perdas financeiras às empresas de mineração (PITARD, 2008).

O método de coleta de amostras empregado em qualquer empreendimento mineiro deve gerar amostras representativas e, portanto, não-enviesadas. Segundo Chierigati (2007), o conceito de representatividade pode ser expresso pela união de precisão e acurácia. Este objetivo é alcançado quando se utilizam equipamentos adequados à operação e técnicas de amostragem baseadas em teorias que permitam minimizar os erros de amostragem.

A mina de Chapada, uma mina de cobre e ouro a céu aberto, localizada no município de Alto Horizonte, no estado de Goiás, foi o alvo de estudo deste trabalho. Tal mina realiza sua amostragem para fins de reconciliação por meio da perfuratriz Atlas Copco ROC L8 com mecanismo de limpeza por circulação reversa e sistema automático de amostragem. Sabe-se que perfuratrizes com estas ferramentas são recomendáveis para tal finalidade, uma vez que a circulação reversa recupera de 95% a 99% do material do furo e a amostragem automática minimiza vários dos erros gerados pela amostragem manual, tais como o erro de delimitação e o erro de segregação e agrupamento. O presente trabalho valida o sistema de amostragem automática a partir da análise da acurácia e precisão dos dados gerados, dando apoio ao planejamento de lavra e complementando as informações do modelo de longo prazo.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é validar a perfuratriz Atlas Copco ROC L8 com mecanismo de limpeza por circulação reversa e sistema automático de amostragem, analisando amostras e duplicatas geradas pelo equipamento, de modo a minimizar os erros de estimativa de teores e aumentar a confiabilidade do modelo de curto prazo para fins de reconciliação.

3. REVISÃO DA LITERATURA

Os itens que se seguem são fundamentais para o entendimento do escopo deste trabalho. Serão abordados, entre outros, os conceitos de amostra, amostragem, heterogeneidade, precisão, acurácia, representatividade e reconciliação. Tais conceitos estão baseados, essencialmente, em dois livros – um de Francis F. Pitard (1993) e outro de Pierre Gy (1998) – que procuram dar a estes temas a atenção devida.

3.1. Amostra

Define-se amostra como uma parte do lote que se deseja amostrar, devendo representá-lo nas operações subsequentes. Frequentemente é constituída por uma série de incrementos (quantidades moduladas de material) retirados de um dado universo a instantes diferentes.

Segundo Chierigati (2007), o universo é o conjunto de todos os resultados possíveis de uma dada variável aleatória, e a amostra é um conjunto reduzido de observações tomadas desse universo.

De acordo com Chaves (2012), pode-se considerar uma amostra correta quando as seguintes condições forem satisfeitas:

- 1) A amostra é acurada (correta ou não enviesada);

2) A amostra é precisa (suficientemente reproduzível).

Neste caso, todos os elementos do lote – quantidade finita de material separada para uma utilização específica – possuirão a mesma probabilidade de seleção ou extração.

3.2. Amostragem

Amostragem pode ser definida como uma sequência de operações com o objetivo de recolher, de um dado universo, uma parcela significativa, ou amostra, que o represente nas etapas subsequentes da melhor maneira possível. Conforme Gy (1998), o único objetivo da amostragem é reduzir a massa de um lote L sem inserir mudanças significativas em suas outras propriedades.

O processo de amostragem se faz presente em todas as etapas de um empreendimento mineiro, por diversos motivos, evidenciando sua importância. Dados inconsistentes e enviesados decorrentes de um processo de amostragem descuidado podem ocasionar diversas consequências negativas para o empreendimento, podendo atingir significativas perdas financeiras.

A Teoria da Amostragem, desenvolvida por Pierre Gy, é construída com base no conceito de que, se um número suficiente de unidades representativas de uma população é selecionado sem enviesamento, o valor médio das unidades irá se aproximar daquele da população total (YAMAMOTO, 1992).

Um dos principais problemas dessa seleção é que diversos erros podem ser induzidos durante os procedimentos, alterando a integridade da amostra. O objetivo da Teoria da Amostragem de Pierre Gy é conhecer e quantificar tais erros de amostragem, apresentados no item 3.2.2., através da análise de suas propriedades em função do processo de retirada de amostras e do material amostrado, e da seleção de equipamentos e de procedimentos que possibilitem eliminá-los ou, ao menos, minimizá-los (CHIEREGATI; PITARD, 2011).

Em geral, quanto maior a precisão requerida para os resultados de um plano de amostragem, maior o custo envolvido. Desta forma, é necessário equacionar e conciliar tais fatores em relação ao valor intrínseco do material, bem como em relação ao custo proveniente da consequência dos possíveis erros.

3.2.1. Amostragem de metais preciosos

A amostragem de metais preciosos, em geral, é delicada à medida que estes materiais apresentam elevado valor agregado mesmo em quantidades relativamente pequenas. Desta forma, provavelmente não existem outros materiais para os quais a precisão e a acurácia da amostragem sejam tão críticas quanto para os metais preciosos.

Uma boa estratégia de amostragem destes materiais deve considerar os seguintes itens:

- 1) Estudo da heterogeneidade do material de um dado lote;
- 2) Otimização dos protocolos de amostragem de modo a minimizar os erros que não podem ser eliminados, tais como o erro fundamental da amostragem;
- 3) Controle da correção ou acurácia da amostragem de modo a eliminar os erros que podem ser eliminados, tais como o erro de delimitação do incremento, o erro de extração do incremento e o erro de preparação do incremento.

3.2.2. Tipos de erros associados à amostragem

A diferença entre o teor da amostra, obtida a partir de um lote de material L , e o teor verdadeiro (e desconhecido) deste lote de material é definido como erro de amostragem. Toda amostra possui erros associados. Cada erro individual contribui para um erro total de amostragem que pode ser minimizado, mas nunca eliminado por

completo. Segundo Gy (1998), “[...] a heterogeneidade é vista como a única fonte de todos os erros de amostragem [...]”.

Os conceitos sobre erros apresentados neste trabalho estão baseados em Chieregati (2007). Os erros individuais podem ser analisados da seguinte forma:

- 1) **ERRO FUNDAMENTAL DA AMOSTRAGEM (FSE):** É o menor erro que pode ser inserido no processo de amostragem. É decorrente unicamente da redução de massa do lote e da constituição do material, sendo gerado mesmo quando garantimos que todos os fragmentos de um lote possuem a mesma probabilidade de seleção, e que sua seleção é feita individualmente fragmento por fragmento. A fórmula de Gy (detalhada no Apêndice A), como segue na Equação 1, é muito conhecida e difundida no cálculo do erro fundamental, onde a variância relativa do erro fundamental (s^2_{FSE}) é função do diâmetro do fragmento (d), granulometria (g), forma (f), grau de liberação (l), constituição mineralógica (c), massa do lote (M_L) e massa da amostra (M_s).

$$s^2_{FSE} = c f g l d^3 \left(\frac{1}{M_s} - \frac{1}{M_L} \right) \quad \text{Equação 1.}$$

- 2) **ERRO DE SEGREGAÇÃO E AGRUPAMENTO (GSE):** A condição ideal de amostragem ocorre quando todos os fragmentos possuem igual probabilidade de seleção. Contudo, durante a seleção de um incremento amostral, não ocorre a seleção de apenas um fragmento por vez e sim de todo um grupo de fragmentos. Esse erro será tanto mais significativo quanto for a heterogeneidade de distribuição, ou seja, é função da segregação do material.
- 3) **ERRO DE FLUTUAÇÃO DE HETEROGENEIDADE (HFE):** A flutuação de heterogeneidade diz respeito às variações no lote ocorridas durante um tempo, podendo ser cíclicas, de longo ou curto prazo. É muito importante considerar esse erro na amostragem de pilhas alongadas, transportadores

de correias, fluxos e outros lotes que possam ser considerados unidimensionais.

- 4) ERRO DE PONDERAÇÃO DO INCREMENTO (IWE) E ERRO DE FLUTUAÇÃO DE QUALIDADE (QFE): Se uma amostra é formada por diversos incrementos de diferentes lotes, esses incrementos devem ser proporcionais ao lote que representam para evitar o enviesamento da amostra. Supondo, por exemplo, que a amostra deva representar duas pilhas diferentes, uma de material grosso e a outra de material fino, é importante que as amostras de cada pilha sejam ponderadas corretamente em relação a suas massas, para que a amostra mantenha a proporção original.
- 5) ERRO DE MATERIALIZAÇÃO DO INCREMENTO (IME): A materialização do incremento é constituída pela delimitação, extração e preparação da amostra. O uso de amostradores incorretos no processo de amostragem são os responsáveis por estes tipos de erro e, portanto, a única estratégia eficiente para a solução deste problema é a eliminação prévia destes erros através do dimensionamento, fabricação, manutenção e utilização de amostradores que garantam a correta delimitação e extração de amostras.
- 6) ERRO ANALÍTICO (AE): A etapa de análise também é passível de erros. O erro analítico, embora não faça parte do erro total de amostragem, deve ser incluído no erro total de estimativa, pois todo resultado de teor de amostra provém de um processo analítico.

A Figura 1 ilustra um sumário dos erros de amostragem explicados.

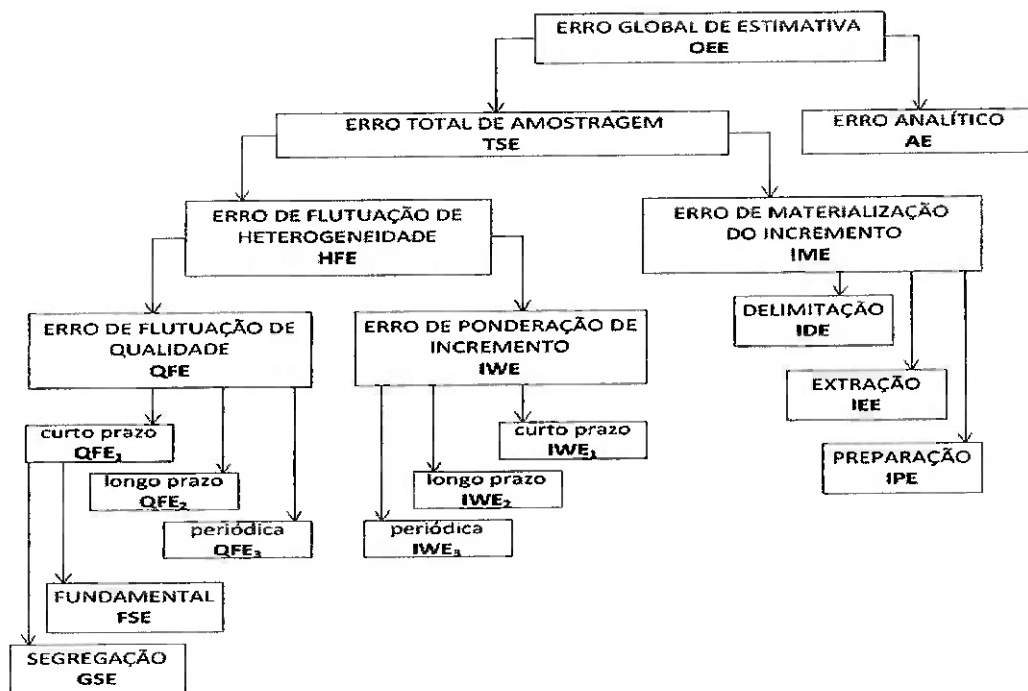


Figura 1 - Representação dos componentes do erro global de estimativa (PITARD, 2010 *apud* CHIEREGATI; PITARD, 2011).

Então, o erro total de amostragem (TSE) considera todos os diversos estágios de amostragem realizados para gerar sucessivas amostras. É definido como a combinação de duas categorias de operações: um processo de seleção imaterial que leva ao erro de flutuação de heterogeneidade (HFE), e um processo de materialização que leva ao erro de materialização do incremento (IME) gerado em cada etapa de amostragem.

Para completar o estudo dos erros no processo de amostragem, podemos expressar o erro global de estimativa (OEE) como a soma do erro total de amostragem (TSE) e o erro analítico (AE).

Todos os erros que compõem o erro global de estimativa podem ser eliminados ou minimizados. O erro fundamental é o único erro que não pode ser eliminado, pois está relacionado unicamente à heterogeneidade constitucional do material.

3.3. Amostragem por perfuratriz com circulação reversa

A perfuratriz com circulação reversa é um equipamento utilizado para amostragem, e não para realizar furos de desmorte.

As principais características da amostragem por perfuratriz com circulação reversa são a de evitar contaminação e perda de material, além de conseguir recuperar uma massa de 95% a 99% do material proveniente do furo realizado, de acordo com os fabricantes. Isto deve-se, principalmente, à diminuição de perda de material fino pelas fraturas na trajetória ascendente das partículas.

A recuperação do material, através da circulação reversa, é realizada por uma tubulação localizada ao redor da haste de perfuração do equipamento. Com este mecanismo, é possível evitar o contato do material do furo com o restante do maciço, o que poderia ocasionar contaminação do material. Esta característica é fundamental, também, nas perfurações onde há a presença de água, uma vez que o material não sofre interferência desta à medida em que é amostrado ao longo do comprimento da haste.

Segundo Pitard (2008), tais equipamentos com circulação reversa, utilizados apenas para amostragem e não para realizar furos de desmonte, possuem diversas vantagens, como:

- 1) Ausência de subfuração: a ausência de material de subfuração elimina o erro de delimitação da amostra. A eliminação desse erro de amostragem é uma vantagem econômica que pode representar de 5 a 15% da receita total da operação;
- 2) Possibilidade de perfurar vários bancos ao mesmo tempo: o controle do modelo geológico para vários trimestres pode ser feito ao mesmo tempo, o que melhora os modelos de curto e médio prazo;
- 3) Possibilidade de perfurar com um ângulo escolhido: a possibilidade de perfuração em ângulo com maior precisão permite uma melhor amostragem de veios subverticais. O sistema de circulação reversa tem tal flexibilidade, levando a uma melhor avaliação do bloco;
- 4) Minimização da contaminação e das perdas: os fragmentos estão protegidos dentro da haste de perfuração, minimizando a contaminação ascendente, refluxo e perda do material dentro das fraturas;

- 5) Capacidade de perfurar em bancos fora da área de detonação: com o sistema de circulação reversa, blocos que não estão sendo preparados para o desmonte podem ser amostrados. Esta vantagem pode economizar tempo quando associada a um bom planejamento de amostragem;
- 6) A amostragem não interfere na produção: o aumento do tráfego do equipamento pode ser minimizado com planejamento adequado. A amostragem por circulação reversa não deve interferir com a produção da mina;
- 7) Controle de teor mais preciso e acurado.

Entre as desvantagens do sistema, podemos mencionar os custos extras e aumento do tráfego na mina, o que, dependendo do tipo de acesso aos bancos, pode ser um grande inconveniente. No entanto, "é altamente recomendável que as empresas de mineração analisem com cuidado a viabilidade da implantação de um sistema de amostragem automática com circulação reversa para controle de reservas, ao invés de se prender às velhas práticas que podem levar a grandes problemas de reconciliação no futuro" (Pitard, 2008).

3.4. Heterogeneidade

Segundo Pitard (1993), "[...] homogeneidade é um conceito relativo, ou um conceito matemático abstrato que não existe na vida real [...]". A diferença entre homogeneidade e heterogeneidade é quantitativa: homogeneidade é a condição inatingível de heterogeneidade zero, ou seja, é um caso limite a heterogeneidade (CHIEREGATI, 2007).

Quando se observa os fragmentos de uma pilha de material separadamente, percebemos que há uma grande heterogeneidade entre eles, por exemplo: diferentes tamanhos, cores, composições, formas, densidades e durezas. Portanto, no caso da amostragem, é necessário aceitar a hipótese de lidar somente com materiais heterogêneos (PITARD, 1993).

Existem dois tipos de heterogeneidade:

- 1) Constitucional: ligada às propriedades fundamentais, ou de constituição, dos fragmentos de um lote, observando-os individualmente. Um lote homogêneo (valor zero de heterogeneidade constitucional) é um lote em que todos os fragmentos são idênticos em relação às suas características;
- 2) Distribucional: relacionada a grupos de fragmentos e sua distribuição espacial no lote. Ou seja, quando são analisados diferentes pontos de um lote de material fragmentado, é comum encontrar diferenças entre as características dos fragmentos que constituem tais grupos, definindo a heterogeneidade de distribuição. Um lote com distribuição homogênea tem grupos com a mesma composição média de suas características.

3.5. Precisão, acurácia e representatividade da amostra

Um processo de amostragem correto deve fornecer uma amostra tanto acurada (não-enviesada) quanto precisa (reproduzível). Nestas condições, se uma amostra é correta e suficientemente reproduzível, isto automaticamente a qualifica como representativa. O conceito de representatividade pode ser expresso, então, pela união de precisão e acurácia (CHIEREGATI, 2007).

3.5.1. Precisão

Precisão refere-se a medir a variabilidade das amostras ao redor da média dos seus valores. Um processo de amostragem é dito preciso, portanto, quando o erro de amostragem é pouco disperso ao redor de sua média, independentemente da média do lote da qual ela foi retirada.

Esta medida é geralmente expressa como a variância do erro de amostragem (s^2), e tem-se que quanto menor a variância, menor a dispersão e maior a precisão.

A Equação 2 apresenta o cálculo da variância (DEVORE, 2006).

$$s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

Equação 2.

Na qual:

s^2 = variância amostral;

x_i = teor de cada amostra;

\bar{x} = média dos teores das amostras;

n = número de amostras.

3.5.2. Acurácia

O conceito de acurácia é independente da precisão. A acurácia indica o quão próximo se está da média do valor real do lote. Uma amostra é considerada acurada quando o erro de amostragem possui sua média próxima de zero, e esta média representa o enviesamento da amostragem.

Uma boa estratégia de amostragem deve sempre considerar o controle da acurácia da amostragem de modo a eliminar erros, tais como o erro de delimitação, extração e preparação.

Os conceitos de precisão e acurácia estão ilustrados na Figura 2.

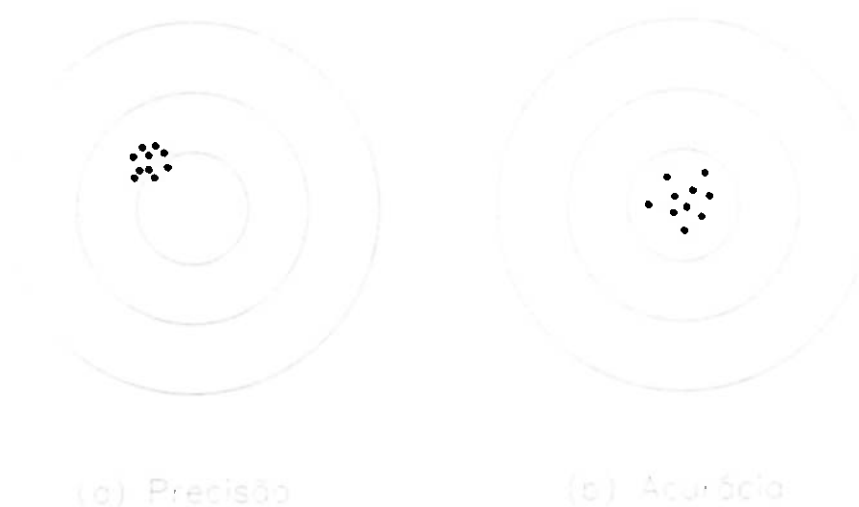


Figura 2 - Precisão x Acurácia (CHIEREGATI, 2007).

3.5.3. Representatividade

Uma amostra é dita representativa quando a média ao quadrado do erro de amostragem (SE) somada à variância deste erro é menor que um dado valor padrão de representatividade considerado aceitável (CHIEREGATI, 2012). Isto é representado pela Equação 3:

$$r^2(SE) = m^2(SE) + s^2(SE) \leq r_0^2(SE) \quad \text{Equação 3.}$$

Na qual:

$r^2(SE)$ = representatividade da amostra;

$m^2(SE)$ = média do erro de amostragem ao quadrado;

$s^2(SE)$ = variância do erro de amostragem;

$r_0^2(SE)$ = representatividade padrão definida.

Ressalta-se que quando comparadas as representatividades de duas amostras, diz-se que a que possui menor valor de $r^2(SE)$ é a mais representativa, pois possui os menores valores de média e variância do erro.

3.6. Reconciliação

No contexto da indústria mineral, reconciliação pode ser definida como a comparação entre uma estimativa (modelo de recursos, modelo de reservas, modelo de controle do teor) e uma medição (produção oficial da usina de beneficiamento ou da metalurgia) (CHIEREGATI, 2007). Dessa forma, a reconciliação é fortemente dependente de dados consistentes provenientes de bons procedimentos de amostragem.

Segundo Morley (2003), a reconciliação tem como objetivos principais:

- 1) Medir o desempenho da operação com base nas metas iniciais;

- 2) Garantir uma avaliação acurada dos ativos minerais;
- 3) Confirmar a eficiência das estimativas de massa e teor;
- 4) Fornecer indicadores de desempenho (em especial para o controle de teor).

O processo de reconciliação pode descobrir problemas de estimativas de teores e massa, de amostragem, de métodos de lavra, no processo como um todo e uma série de outros problemas técnicos quando monitorado de maneira sistemática. Tais desvios podem ser, então, analisados, e melhorias no processo podem ser aplicadas para resolvê-los. Assim, o conceito de reconciliação poderia ser resumido nestas três palavras: “medir, controlar e melhorar” (NOPPÉ, 2004).

A Figura 3 apresenta um processo de reconciliação, desde a estimativa de recursos até a produção de metal. Estão inclusas as perguntas que poderiam ser feitas durante o processo para a identificação de possíveis desvios, permitindo a tomada de ações para corrigi-los.

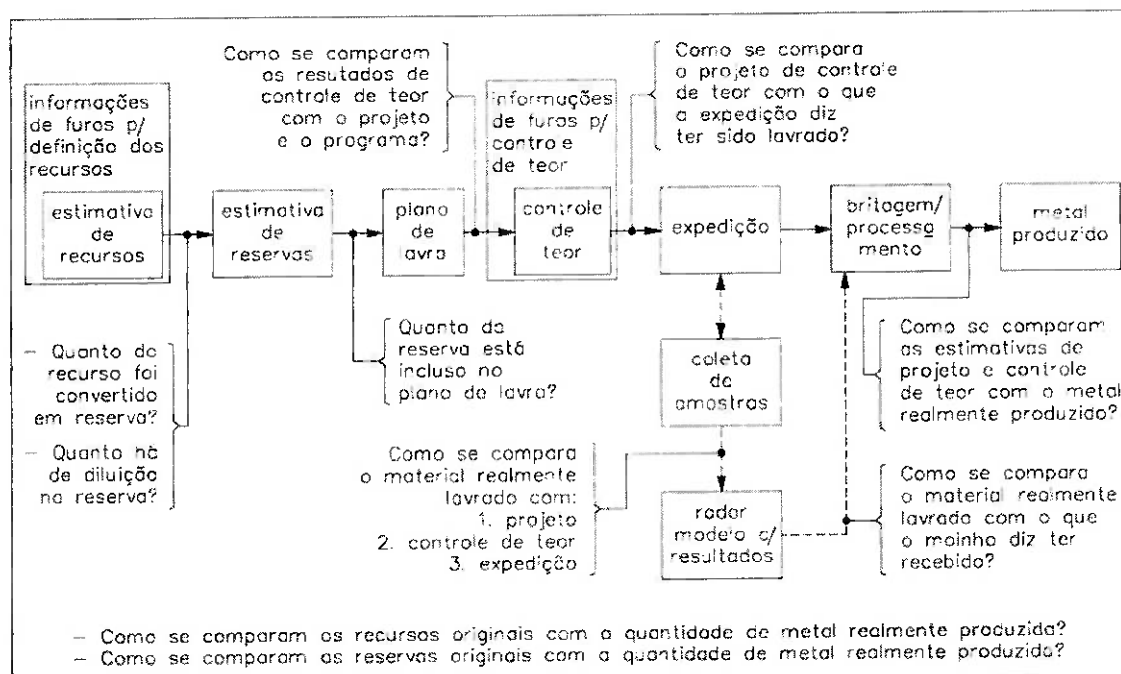


Figura 3 - Esquema do processo de reconciliação (MORLEY, 2003).

3.7. Conceito QA-QC

Uma vez que os pontos de medição para o cálculo de reconciliação estejam definidos, deve-se garantir que seja realizado um número suficiente de medições para permitir o controle e o monitoramento da confiabilidade dos dados (precisão e acurácia), principalmente no caso da amostragem. Isto requer o estabelecimento de um sistema de garantia de qualidade (*quality assurance*, ou QA) e de procedimentos de controle de qualidade (*quality control*, ou QC). Este é o chamado sistema QA-QC (CHIEREGATI, 2007).

A garantia de qualidade é conseguida pelo estabelecimento e documentação de sistemas e padrões para garantir a qualidade a um nível mais abrangente. O controle de qualidade utiliza ferramentas estatísticas para assegurar que os sistemas estão estatisticamente controlados a um nível mais específico (CHIEREGATI, 2007).

Um sistema QA-QC bem projetado e implementado – por exemplo, um bom sistema de reconciliação – não deve adicionar uma carga de trabalho extra à equipe técnica. Os processos devem ser automatizados e os mais transparentes e acessíveis possível, de modo que se possa despendar mais tempo na interpretação dos resultados do que na comparação entre os dados. Os dados não são informações até que eles sejam apresentados de uma maneira útil (NOPPÉ, 2004).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Estudo de caso: Maracá

O trabalho foi realizado na mina de Chapada, localizada no estado de Goiás, no município de Alto Horizonte, a aproximadamente 330 quilômetros ao noroeste de Brasília, conforme apresenta a Figura 4.



Figura 4 - Localização da mina de Chapada - Alto Horizonte/GO (Google Earth, 2015).

A exploração é realizada pela Mineração Maracá Indústria e Comércio S.A. (MMIC), hoje com 100% do seu capital acionário pertencente a Yamana Gold Inc.

A mina de Chapada produz concentrado de cobre e ouro e atende, além do Brasil, o mercado externo – Índia, Espanha e Alemanha são os principais consumidores. O início da produção se deu em 2007, e a capacidade atual de tratamento na usina de flotação é de 22 milhões de tonelada ao ano.

A unidade é responsável por contribuir de forma decisiva para a consolidação da Yamana Gold Inc. no território brasileiro, uma vez que apresenta bom desempenho de produção e gestão de custos.

A lavra da mina é a céu aberto, vide Figura 5. Os sulfetos de cobre e ouro extraídos tem teores médios de 0,28% e 0,19 g/t, respectivamente.



Figura 5 – Mina de Chapada (Arquivo pessoal de Thammiris El Hajj, 2013).

Estão presentes diversos tipos litológicos no depósito de Chapada, porém o ouro e cobre encontrados não estão associados diretamente a nenhuma das estruturas, mas a um grupo de rochas. Tal propriedade, aliada aos baixos teores dos metais preciosos, vão de encontro a uma das principais características do depósito: sua grande heterogeneidade.

Desta forma, é nítida a importância de um adequado e eficiente processo de amostragem e interpretação dos dados para fins de reconciliação.

4.2. Escopo do trabalho

Para a análise das amostras geradas pela perfuratriz que utiliza o mecanismo de limpeza por circulação reversa com amostrador automático acoplado, objeto deste trabalho, foram realizadas duas etapas em campo:

- 1) Execução de furos gêmeos com perfuratriz e sonda rotativa diamantada, para posterior comparação de teores entre amostras e testemunhos de sondagem;
- 2) Execução de furos com a perfuratriz, para posterior comparação de teores entre amostras e respectivas duplicatas.

Destaca-se que a execução dos furos gêmeos possibilita a verificação da acurácia das amostras, enquanto que a execução de furos com a perfuratriz possibilita a verificação da precisão das duplicatas com relação às amostras.

4.3. Perfuratriz – Atlas Copco ROC L8 RC

A perfuratriz Atlas Copco ROC L8 RC, ilustrada na Figura 6, capaz de realizar furos com diâmetro de 110 a 165 milímetros e com profundidade de até 40 metros, é utilizada pela Mineração Maracá para suas campanhas de amostragem com objetivo de obter dados para fins de reconciliação. Este é o equipamento a ser validado neste trabalho.

O mecanismo de limpeza por circulação reversa, como apresentado na Figura 7, funciona da seguinte forma: o ar comprimido se desloca entre os tubos de perfuração, recuperando o material e enviando-o para um defletor de cerâmica para a diminuição da velocidade das partículas. Tais partículas são enviadas para um ciclone onde são temporariamente armazenadas. Ao atingir a profundidade desejado do furo, a perfuração é interrompida e o material é, então, encaminhado para o sistema automático de amostragem acoplado ao mecanismo da perfuratriz.



Figura 6 - Perfuratriz Atlas Copco ROC L8 RC (Arquivo pessoal, 2015).

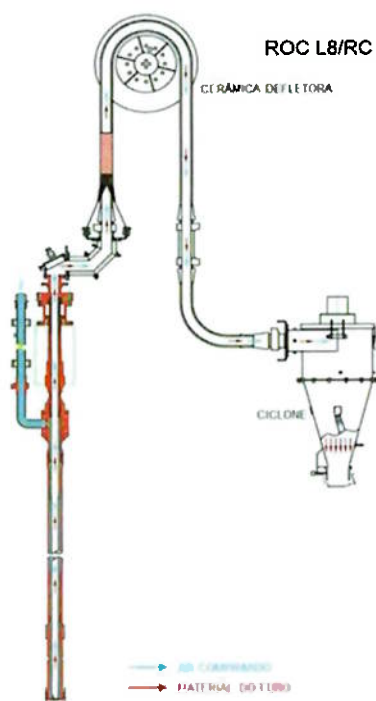


Figura 7 – Circulação reversa: desenho esquemático do caminho realizado pela amostra (Atlas Copco, Catálogo, 2015).

4.4. Furos gêmeos: perfuratriz vs. sonda

A primeira etapa da validação da perfuratriz abrangeu:

- 1) Perfuração com a ROC L8 RC até a profundidade de 40 metros, parando a cada 10 metros para coleta de amostra;
- 2) Perfuração com a sonda rotativa diamantada também até a profundidade de 40 metros, parando a cada 10 metros para coleta de testemunho de sondagem.
- 3) Envio de amostras e testemunhos de sondagem para análise química em laboratório.

A profundidade selecionada para a coleta de amostra converge com a altura da bancada da mina, também de 10 metros. Desta forma, existem oscilações na profundidade de coleta da primeira amostra de cada furo, sendo esta normalmente menor que as demais, com o objetivo de igualar a cota das bancadas.

As informações dos furos gêmeos foram determinadas pela área de planejamento de mina da Yamana Gold Inc., e seguem ilustradas pela Tabela 1 e Figura 8.

Tabela 1 - Informações dos furos gêmeos (Yamana Gold Inc., 2015).

FURO ID	POSIÇÃO		COTA INICIAL (m)	COTA FINAL (m)	1ª AMOSTRA (m)	2ª AMOSTRA (m)	3ª AMOSTRA (m)	4ª AMOSTRA (m)	PROFUNDIDADE TOTAL (m)
	X	Y							
FS1	672048,1	8423951,0	317,3	280,0	7,3	10,0	10,0	10,0	37,3
FS2	672073,0	8423968,0	317,8	280,0	7,8	10,0	10,0	10,0	37,8
FS3	672097,9	8423984,0	318,2	280,0	8,2	10,0	10,0	10,0	38,2
FS4	672089,7	8423943,0	319,5	280,0	9,5	10,0	10,0	10,0	39,5
FS5	672064,8	8423926,0	318,6	280,0	8,6	10,0	10,0	10,0	38,6

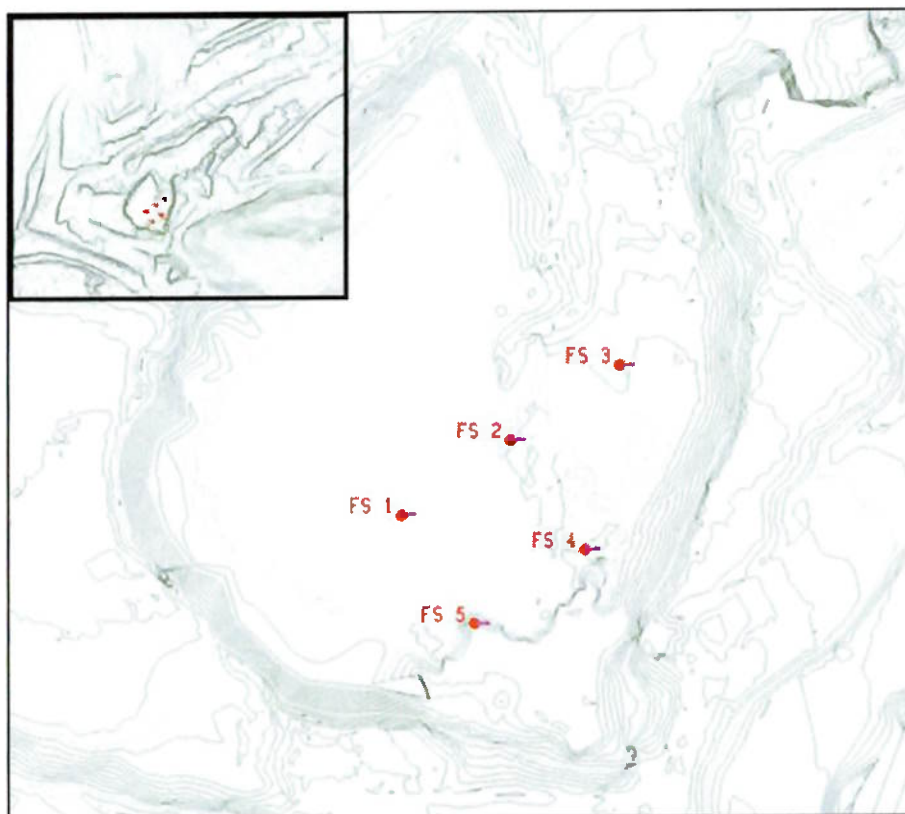


Figura 8 – Esboço de localização dos furos gêmeos (Yamana Gold Inc., 2015).

As amostras geradas pela perfuração com a ROC L8 RC foram coletadas colocando-se sacos plásticos em uma das bocas de saída do amostrador automático, conforme apresenta a Figura 9. Tal amostra representa, aproximadamente, 4% do total do material proveniente da altura em que se está amostrando – 10 metros – e equivale a uma massa de 12 a 16 kg. Desta forma, tem-se que a massa total de material gerado pela perfuratriz para um trecho de 10 metros é de, aproximadamente, 350 kg. É importante destacar que os finos gerados pela perfuratriz foram descartados, uma vez que passam pelos filtros presentes no mecanismo de circulação reversa. Entretanto, eles representam apenas de 1% a 5% do total do furo.



Figura 9 – Coleta de amostra na ROC L8 RC (Arquivo pessoal, 2015).

Para garantir que o material de um segmento de furo não contaminasse a coleta seguinte, foram utilizadas ferramentas manuais para fazer a limpeza da boca do amostrador. A limpeza completa do equipamento é efetuada apenas nas trocas de turno dos operadores, e utilizam-se outras ferramentas como o caminhão-pipa para a lavagem do mecanismo e de todos os seus componentes.

4.5. Amostra e duplicata: perfuratriz

A segunda etapa da validação da perfuratriz, por sua vez, abrangeu:

- 1) Perfuração com a ROC L8 RC até a profundidade de 40 metros em diversas regiões da mina, parando a cada 10 metros para coleta de amostra e sua respectiva duplicata;
- 2) Envio de amostras e duplicatas para análise química em laboratório.

O procedimento de coleta de amostras e respectivas duplicatas foi o mesmo: colocou-se um saco plástico em ambas as bocas de saída do amostrador automático. As Figuras 10 e 11 apresentam, respectivamente, uma representação esquemática e uma foto da coleta de amostra e duplicata.

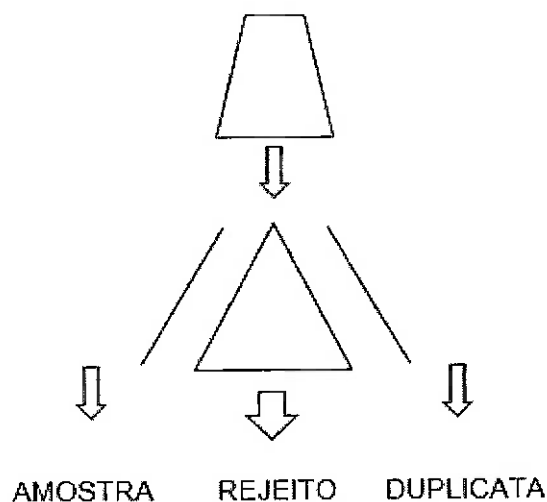


Figura 10 - Representação esquemática: amostrador automático (Elaboração própria).

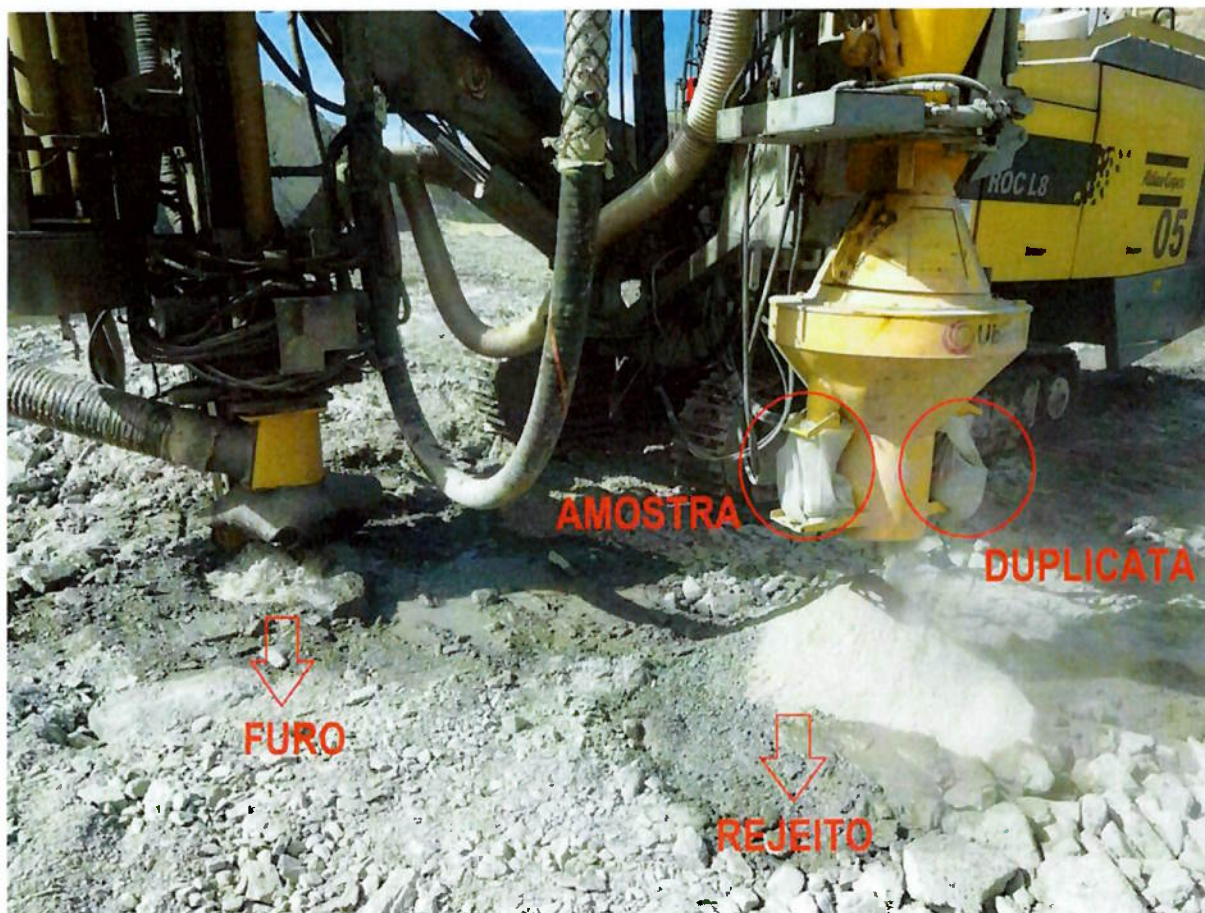


Figura 11 - Coleta de amostra e respectiva duplicata na ROC L8 RC (Arquivo pessoal, 2015).

Nesta etapa, portanto, foram gerados pares de material, ambos com massa de 12 a 16 kg que, identificados adequadamente, foram encaminhados para a análise química em laboratório.

Para complementar o trabalho realizado em campo e viabilizar a validação do equipamento, foram disponibilizados, pela área de planejamento de mina da Yamana Gold Inc., os dados do histórico de controle de qualidade do equipamento deste ano corrente (2015). Desta forma, ampliaram-se os dados para 90 conjuntos de amostra e respectiva duplicata.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tratamento dos dados provenientes da análise química em laboratório teve como objetivo examinar as amostras geradas pela perfuratriz. Os resultados foram obtidos tanto para ouro como para cobre, e serão analisados separadamente.

5.1. Furos gêmeos

5.1.1. Ouro

As Tabelas 2 a 6 apresentam os resultados da análise química das amostras coletadas pela ROC L8 RC e dos testemunhos de sondagem coletados pela sonda rotativa, para o ouro, a cada 10 metros de profundidade para cada um dos furos gêmeos realizados, conforme procedimento apresentado em 4.4. Nota-se que para o Furo 4 não foi possível seguir e finalizar o procedimento de amostragem conforme descrito na Tabela 1, uma vez que houve a interferência da água e das fraturas na perfuração.

As últimas colunas das tabelas mostram os erros de estimativa das amostras coletadas pela ROC L8 RC em relação aos testemunhos de sondagem para cada trecho, bem como para a profundidade total. Desta forma, os dados da sondagem se tornaram referência para estes cálculos.

Devido ao primeiro trecho de cada furo ter comprimento diferente – resultado da irregularidade do terreno na posição do furo – bem como todos os trechos do Furo 4 devido à interferência da água, os teores foram calculados ponderando-se o teor da amostra com seu tamanho.

Tabela 2 - Teores de ouro e erros de estimativa das amostras coletadas – Furo 1.

Equipamento	Furo ID	Profundidade (m)	Teor Amostra (g/t)	Erro de Estimativa (%)	Teor do Furo - Média (g/t)	Erro de Estimativa - Média (%)
ROC L8	1-L8-1	7,3	0,510	67,82	0,70	26,89
	1-L8-2	10,0	0,331	210,42		
	1-L8-3	10,0	0,891	42,80		
	1-L8-4	10,0	1,024	-7,84		
Sonda Rotativa	1-Sonda-1	7,3	0,304	-	0,55	-
	1-Sonda-2	10,0	0,107			
	1-Sonda-3	10,0	0,624			
	1-Sonda-4	10,0	1,111			

Tabela 3 - Teores de ouro e erros de estimativa das amostras coletadas – Furo 2.

Equipamento	Furo ID	Profundidade (m)	Teor Amostra (g/t)	Erro de Estimativa (%)	Teor do Furo - Média (g/t)	Erro de Estimativa - Média (%)
ROC L8	2-L8-1	7,8	0,388	-5,84	0,81	-12,50
	2-L8-2	10,0	0,918	-33,52		
	2-L8-3	10,0	0,919	6,19		
	2-L8-4	10,0	0,925	-1,06		
Sonda Rotativa	2-Sonda-1	7,8	0,412	-	0,93	-
	2-Sonda-2	10,0	1,380			
	2-Sonda-3	10,0	0,865			
	2-Sonda-4	10,0	0,935			

Tabela 4 - Teores de ouro e erros de estimativa das amostras coletadas – Furo 3.

Equipamento	Furo ID	Profundidade (m)	Teor Amostra (g/t)	Erro de Estimativa (%)	Teor do Furo - Média (g/t)	Erro de Estimativa - Média (%)
ROC L8	3-L8-1	8,2	0,432	-4,34	0,82	-10,87
	3-L8-2	10,0	1,032	-2,43		
	3-L8-3	10,0	0,853	-40,41		
	3-L8-4	10,0	0,912	34,94		
Sonda Rotativa	3-Sonda-1	8,2	0,452	-	0,93	-
	3-Sonda-2	10,0	1,058			
	3-Sonda-3	10,0	1,432			
	3-Sonda-4	10,0	0,676			

Tabela 5 - Teores de ouro e erros de estimativa das amostras coletadas – Furo 4.

Equipamento	Furo ID	Profundidade (m)	Teor Amostra (g/t)	Erro de Estimativa (%)	Teor do Furo - Média (g/t)	Erro de Estimativa - Média (%)
ROC L8	4-L8-1	9,5	1,275	-13,72	0,96	-29,61
	4-L8-2	8,1	0,582	-52,22		
Sonda Rotativa	4-Sonda-1	9,5	1,478	-	1,36	-
	4-Sonda-2	8,1	1,218			

Tabela 6 - Teores de ouro e erros de estimativa das amostras coletadas – Furo 5.

Equipamento	Furo ID	Profundidade (m)	Teor Amostra (g/t)	Erro de Estimativa (%)	Teor do Furo - Média (g/t)	Erro de Estimativa - Média (%)
ROC L8	5-L8-1	8,6	0,836	-30,68	0,80	15,60
	5-L8-2	10,0	1,240	97,97		
	5-L8-3	10,0	0,820	41,51		
	5-L8-4	10,0	0,292	-29,43		
Sonda Rotativa	5-Sonda-1	8,6	1,206	-	0,69	-
	5-Sonda-2	10,0	0,626			
	5-Sonda-3	10,0	0,579			
	5-Sonda-4	10,0	0,413			

Os resultados das tabelas permitem observar que as amostras geradas pela ROC L8 RC não possuem uma tendência em subestimar ou superestimar o teor real estimado de ouro.

Destaca-se que os erros foram calculados em relação aos resultados obtidos pela sonda rotativa diamantada, e nota-se que os erros de estimativa para cada furo variam, alcançando um módulo máximo no Furo 4, exatamente aquele em que não foi possível seguir o procedimento de amostragem definido.

É possível analisar o conjunto de todos os furos, ponderando os erros de estimativa. A Tabela 7 apresenta tais resultados.

Tabela 7 - Erro de estimativa total para os furos – Ouro.

Furo ID	1	2	3	4	5
Erro de Estimativa - Média (%)	26,89	-12,50	-10,87	-29,61	15,60
Comprimento (m)	37,3	37,8	38,2	17,6	38,6
Erro de Estimativa Total (%)	1,16				

O erro de estimativa total para o ouro foi mínimo de 1,16% em relação aos dados da sondagem, por mais que, individualmente, os erros de estimativa estejam superiores.

A grande dispersão dos valores dos erros é esperada no caso do ouro devido ao elevado efeito pepita, ao baixíssimo teor e à elevada heterogeneidade constitucional. Não existe, entretanto, sistematicidade dos erros.

Quando o erro de estimativa da amostragem não apresenta sistematicidade e tem média próxima de zero, como neste caso, isso nos permite dizer que os dados não estão enviesados e a amostra é acurada para ouro.

5.1.2. Cobre

Da mesma forma como apresentado e analisado anteriormente, porém agora para o cobre, as Tabelas 8 a 12 apresentam os resultados das amostras coletadas pela ROC L8 RC e dos testemunhos de sondagem coletados pela sonda rotativa.

Tabela 8 - Teores de cobre e erros de estimativa das amostras coletadas – Furo 1.

Equipamento	Furo ID	Profundidade (m)	Teor Amostra (%)	Erro de Estimativa (%)	Teor do Furo - Média (%)	Erro de Estimativa - Média (%)
ROC L8	1-L8-1	7,3	0,410	9,95	0,48	21,71
	1-L8-2	10,0	0,322	179,74		
	1-L8-3	10,0	0,577	20,93		
	1-L8-4	10,0	0,610	-1,78		
Sonda Rotativa	1-Sonda-1	7,3	0,373	-	0,40	-
	1-Sonda-2	10,0	0,115			
	1-Sonda-3	10,0	0,477			
	1-Sonda-4	10,0	0,621			

Tabela 9 - Teores de cobre e erros de estimativa das amostras coletadas – Furo 2.

Equipamento	Furo ID	Profundidade (m)	Teor Amostra (%)	Erro de Estimativa (%)	Teor do Furo - Média (%)	Erro de Estimativa - Média (%)
ROC L8	2-L8-1	7,8	0,479	-7,48	0,61	-4,65
	2-L8-2	10,0	0,711	-10,60		
	2-L8-3	10,0	0,598	-8,46		
	2-L8-4	10,0	0,637	9,75		
Sonda Rotativa	2-Sonda-1	7,8	0,518	-	0,64	-
	2-Sonda-2	10,0	0,795			
	2-Sonda-3	10,0	0,653			
	2-Sonda-4	10,0	0,580			

Tabela 10 - Teores de cobre e erros de estimativa das amostras coletadas – Furo 3.

Equipamento	Furo ID	Profundidade (m)	Teor Amostra (%)	Erro de Estimativa (%)	Teor do Furo - Média (%)	Erro de Estimativa - Média (%)
ROC L8	3-L8-1	8,2	0,544	-9,76	0,70	2,94
	3-L8-2	10,0	0,803	21,32		
	3-L8-3	10,0	0,723	-23,05		
	3-L8-4	10,0	0,703	39,83		
Sonda Rotativa	3-Sonda-1	8,2	0,602	-	0,68	-
	3-Sonda-2	10,0	0,662			
	3-Sonda-3	10,0	0,940			
	3-Sonda-4	10,0	0,503			

Tabela 11 - Teores de cobre e erros de estimativa das amostras coletadas – Furo 4.

Equipamento	Furo ID	Profundidade (m)	Teor Amostra (%)	Erro de Estimativa (%)	Teor do Furo - Média (%)	Erro de Estimativa - Média (%)
ROC L8	4-L8-1	9,5	0,840	7,58	0,71	-4,88
	4-L8-2	8,1	0,568	-20,80		
Sonda Rotativa	4-Sonda-1	9,5	0,781	-	0,75	-
	4-Sonda-2	8,1	0,717			

Tabela 12 - Teores de cobre e erros de estimativa das amostras coletadas – Furo 5.

Equipamento	Furo ID	Profundidade (m)	Teor Amostra (%)	Erro de Estimativa (%)	Teor do Furo - Média (%)	Erro de Estimativa - Média (%)
ROC L8	5-L8-1	8,6	0,414	-35,14	0,45	1,97
	5-L8-2	10,0	0,661	46,18		
	5-L8-3	10,0	0,523	22,02		
	5-L8-4	10,0	0,212	-26,43		
Sonda Rotativa	5-Sonda-1	8,6	0,639	-	0,45	-
	5-Sonda-2	10,0	0,452			
	5-Sonda-3	10,0	0,428			
	5-Sonda-4	10,0	0,288			

Nota-se, mais uma vez, que as amostras geradas pela ROC L8 RC não possuem uma tendência de subestimar ou superestimar o teor real estimado de cobre. Além disso, o erro de estimativa para cada furo se apresenta muito menor comparados aos dados do ouro em exceção ao Furo 1, o qual possui um erro de estimativa discrepante no conjunto.

A Tabela 13 apresenta os resultados de todos os furos em conjunto.

Tabela 13 - Erro de estimativa total para os furos – Cobre.

Furo ID	1	2	3	4	5
Erro de Estimativa - Média (%)	21,71	-4,65	2,94	-4,88	1,97
Comprimento (m)	37,3	37,8	38,2	17,6	38,6
Erro de Estimativa Total (%)	4,35				

O erro de estimativa total para o cobre foi de 4,35% em relação aos dados da sondagem. Neste caso, nota-se que em 4 dos 5 furos o erro de estimativa é mínimo (Furos 2 a 5). O valor total encontrado é maior que para o ouro, porém o número de pares de valores analisados (22 pares) foi pequeno e o valor pode ser considerado baixo (com o possível desvio em apenas um dos furos). Além disso, o erro de estimativa não apresenta sistematicidade. Portanto, é possível dizer que tais dados também não estão enviesados e a amostra é acurada para cobre.

Em ambos os casos apresentados anteriormente, é importante salientar que foi considerado um enviesamento mínimo de $\pm 5\%$ para qualificação da amostra como incorreta no que diz respeito à existência de erro sistemático significativo. Esse valor está baseado nas recomendações de Pitard (1993).

5.2. Amostra e duplicata

O Apêndice B apresenta os dados obtidos a partir da análise química das 90 amostras e respectivas duplicatas, conforme procedimentos descritos no item 4.5.

Ressalta-se que a última coluna (Erro relativo - Média (%)) foi calculada em relação à média entre os teores de amostra e duplicata. Ou seja, o erro relativo é o quociente entre: (1) diferença entre teores de amostra e duplicata – erro absoluto; e (2) média entre os teores de amostra e duplicata.

As Tabelas 14 e 15 contêm o resumo desses dados, apresentando os resultados médios.

5.2.1. Ouro

Os dados obtidos para o ouro estão sumarizados na Tabela 14. Ainda, é possível traçar a correlação entre amostra e duplicata geradas, conforme Figura 12. Nota-se uma alta correlação para o ouro ($R^2=0,98$).

Tabela 14 - Teores de ouro, em g/t, e erros.

Ouro	Teor Amostra (g/t)	Teor Duplicata (g/t)	Erro Absoluto (g/t)	Erro relativo - Média (%)
Média	0,233	0,234	0,001	-1,42
Desvio Padrão	0,220	0,236	0,039	10,42

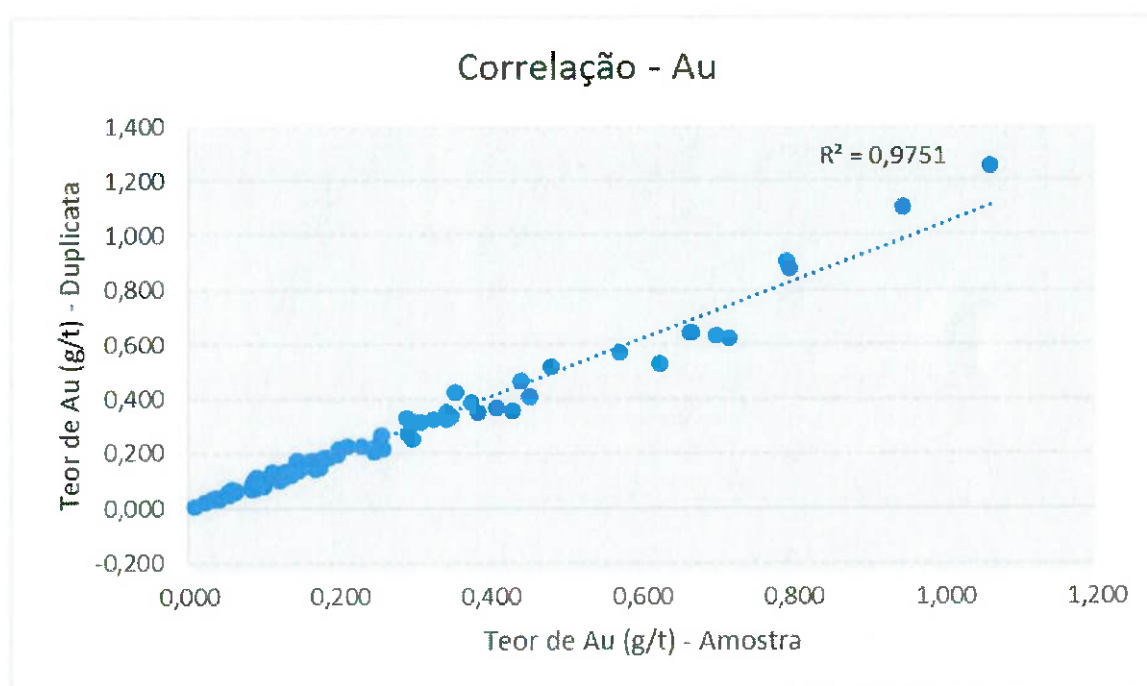


Figura 12 - Gráfico de correlação dos teores de ouro entre amostra e duplicata.

5.2.2. Cobre

Da mesma forma, a Tabela 15 sumariza os dados obtidos para o cobre, e a Figura 13 apresenta a correlação entre amostra e duplicata geradas. A correlação também é elevada ($R^2=0,97$).

Tabela 15 - Teores de cobre, em %, e erros.

Cobre	Teor Amostra (%)	Teor Duplicata (%)	Erro Absoluto (%)	Erro relativo - Média (%)
Média	0,258	0,258	0,001	-0,08
Desvio Padrão	0,149	0,152	0,028	9,53

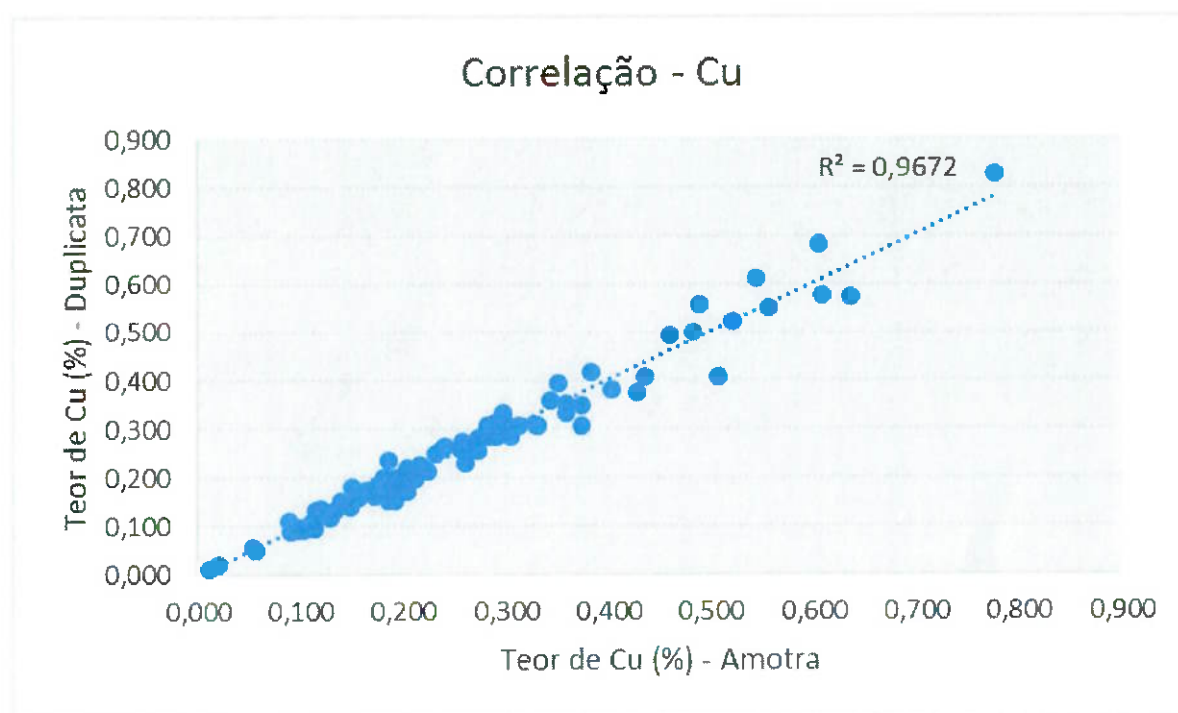


Figura 13 - Gráfico de correlação dos teores de cobre entre amostra e duplicata.

É possível, então, fazer as seguintes observações:

- Não há erro sistemático significativo em ambos os casos, visto que a média do erro foi de -1,42% para o ouro e de -0,08% para o cobre, o que significa que as duplicatas são acuradas comparativamente às amostras, e não há enviesamento.

- A precisão da duplicata é boa, tanto para o ouro (10,42% relativa) quanto para o cobre (9,53% relativa), o que indica reprodutibilidade da amostra.

6. CONCLUSÃO

O trabalho realizado atendeu às expectativas e atingiu o objetivo de validar a perfuratriz com mecanismo de limpeza por circulação reversa e sistema automático de amostragem, concluindo que:

1) As informações obtidas a partir dos furos gêmeos garantem a acurácia das amostras geradas pela perfuratriz, tanto para ouro como para cobre. É possível dizer, então, que tal processo de amostragem fornece amostras não-enviesadas uma vez que para nenhum dos casos foi ultrapassado o valor de enviesamento máximo de $\pm 5\%$ adotado para a qualificação da amostra como incorreta no que diz respeito à existência de erro sistemático significativo;

2) A partir da comparação entre amostras, é possível avaliar que as duplicatas geradas são acuradas e precisas quando comparadas a sua respectiva amostra. Logo, afirma-se que a duplicata reproduz a amostra.

Conclui-se que a perfuratriz ROC L8 RC, da Atlas Copco, é um equipamento adequado para amostragem à medida que apresenta os erros de estimativa de teores mínimos, aumentando a confiabilidade do modelo de curto prazo para fins de reconciliação.

O impacto econômico gerado por métodos incorretos de amostragem, resultando em análises errôneas dos resultados de reconciliação da operação, não deve ser subestimado. Demonstra-se, assim, a importância da amostragem na confiabilidade dos resultados de reconciliação da Mineração Maracá.

Sabendo que a confiabilidade nos resultados de reconciliação depende da qualidade dos dados de entrada, destaca-se, por fim, a importância das boas práticas das equipes envolvidas, bem como o controle das ferramentas utilizadas neste processo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHAVES, A.P. 2012. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**. Capítulo 7, Volume 5, 2ª. Edição. Oficina de Textos, São Paulo.

CHIEREGATI, A.C. 2007. **Reconciliação pró-ativa em empreendimentos mineiros**. Tese de doutorado. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brasil, 201 p.

CHIEREGATI, A. C. **Teoria e Prática de Amostragem e Reconciliação**. São Paulo: Epusp, 2012. 62 p. Apostila para disciplina de pós-graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, PMI-5030 – Amostragem na Indústria Mineral.

CHIEREGATI, A. C.; PIGNATARI, L. E. C.; DELBONI JR. H. 2011. **Novo modelo de reconciliação para a indústria do ouro**. REM: Revista Escola de Minas, vol. 64, nº 2, p. 239-240, abr/jun. Escola de Minas, Ouro Preto.

CHIEREGATI, A.C; PITARD; F.F. 2011. **Fundamentos teóricos da amostragem**. In: Teoria e prática do tratamento de minérios: manuseio de sólidos granulados, CHAVES, A. P., vol. 5, p. 299-338, Signus Editora, São Paulo, 2011.

DEVORE, J. L. 2006. **Probabilidade e Estatística: para Engenharia e Ciências**. Tradução de Joaquim Pinheiro Nunes da Silva. São Paulo. Pioneira Thomson Learning. 608 p.

GY, P. 1967. **L'Echantillonnage des minerais en vrac - théorie générale**. Vol. 1, Société de l'Industrie Minérale, Saint-Etienne, França, 186 p.

GY, P. 1998. **Sampling for analytical purposes**. 1st ed., translated by A.G. Royle, John Wiley & Sons, West Sussex, England.

MORLEY, C. 2003. **Beyond reconciliation: a proactive approach to using mining data**. In: Large Open Pit Mining Conference, 5th, p. 185-192, Kalgoorlie, Australia.

NOPPÉ, M. 2004. **Reconciliation: importance of good sampling and data QA-QC**. In: Mining and Resource Geology Symposium, Queensland, Australia. 2004. Disponível em: <<http://wenku.baidu.com/view/b4875131b90d6c85ec3ac693.html>>.

PITARD, F. F. 1993. **Pierre Gy's sampling theory and sampling practice: heterogeneity, sampling correctness, and statistical process control**. 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, Florida.

PITARD, F. F. 2001. **A strategy to minimize ore grade reconciliation problems between the mine and the mill**. In: Mineral Resource and Ore Reserve Estimation: the AusIMM Guide to Good Practice, p. 557-566, Ed. A.C. Edwards, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, Australia.

PITARD, F. F. 2008. **Blasthole Sampling for Grade Control – The Many Problems and Solutions**. In: Sampling. Conference, Perth, Australia.

PITARD, F.F. 2010. **Minimization of sampling bias (elimination of incorrect sampling errors)**. In: Horizontal Standard Notes. Broomfield, Estados Unidos. Notas pessoais.

YAMAMOTO, J. K. 1992. **Geoestatística aplicada**, São Paulo, IG/USP, Apostila do curso.

APÊNDICE A – Fórmula de Gy

$$s_{FSE}^2 = c f g l d^3 \left(\frac{1}{M_S} - \frac{1}{M_L} \right)$$

Na qual:

s_{FSE}^2 é a variância relativa do possível resultado de teor da amostra;

d é o tamanho máximo dos fragmentos;

c , f , g e l são fatores que podem ser calculados ou obtidos experimentalmente.

1) Fator forma (f): fator de cubicidade.

$f = 0,1$ para minerais laminares (mica, biotita, sheelita, entre outros);

$f = 0,2$ para materiais moles e submetidos a tensões mecânicas, como pepitas de ouro;

$f = 0,5$ para a maioria dos minerais: carvão = 0,446; minério de ferro = 0,495 a 0,514; pirita = 0,470 e cassiterita = 0,530 (Gy, 1967);

$f = 0,523$ para fragmentos esféricos;

$1 < f < 10$ para minerais aciculares (turmalina, asbestos, serpentina).

2) Fator granulometria (g): leva em consideração a variação dos tamanhos dos fragmentos no interior de um lote.

$g = 0,25$ para materiais não calibrados (produto de um britador);

$g = 0,55$ para materiais calibrados (resultado do peneiramento entre duas malhas);

$g = 0,75$ para materiais naturalmente calibrados (cereais e grãos como feijão, arroz, aveia).

3) Fator liberação (l):

$$l = \frac{a_{\max} - a_L}{1 - a_L}$$

$$l = \left(\frac{d_l}{d} \right)^x$$

Se $d < d_l$, $l = 1$. No qual:

a_{\max} é o teor máximo dos fragmentos maiores;

a_L é o teor médio do lote (admite-se que a_L não varia entre as frações granulométricas);

d é o diâmetro máximo dos fragmentos;

d_l é o diâmetro de liberação;

x é um fator que pode ser estimado pelo mineralogista, analisando-se várias seções polidas do material. Não havendo estimativa de x , uma 'regra de dedão' é usar $x = 0,5$.

Tem-se:

$I = 0,05$ para materiais muito homogêneos;

$I = 0,1$ para materiais homogêneos;

$I = 0,2$ para materiais medianos;

$I = 0,4$ para materiais heterogêneos;

$I = 0,8$ para materiais muito heterogêneos.

4) Fator constituição mineralógica (c):

$$c = \lambda_M \frac{(1 - a_L)^2}{a_L} + \lambda_g (1 - a_L)$$

No entanto, na maioria dos casos práticos, o cálculo de c pode ser simplificado:

$$c = \frac{\lambda_M}{a_L} \quad \text{se } a_L < 0,10 \text{ ou } 10\%;$$

$$c = \lambda_g (1 - a_L) \quad \text{se } a_L > 0,90 \text{ ou } 90\%.$$

No qual:

λ_M é a densidade do mineral de interesse;

λ_g é a densidade do mineral de ganga;

a_L é o teor do lote.

APÊNDICE B – Teores: Amostra e Duplicata

1) OURO:

ID	Teor Amostra (g/t)	Teor Duplicata (g/t)	Erro Absoluto	Erro relativo - Média (%)
1	0,322	0,322	0,000	0,00
2	0,143	0,173	0,030	18,99
3	0,156	0,151	-0,005	-3,26
4	0,034	0,035	0,001	2,90
5	0,058	0,059	0,001	1,71
6	0,083	0,070	-0,013	-16,99
7	0,089	0,076	-0,013	-15,76
8	0,305	0,312	0,007	2,27
9	0,135	0,129	-0,006	-4,55
10	0,086	0,096	0,010	10,99
11	0,087	0,074	-0,013	-16,15
12	0,061	0,056	-0,005	-8,55
13	0,086	0,079	-0,007	-8,48
14	0,157	0,150	-0,007	-4,56
15	0,007	0,006	-0,001	-15,38
16	0,090	0,108	0,018	18,18
17	0,021	0,020	-0,001	-4,88
18	0,057	0,068	0,011	17,60
19	0,196	0,193	-0,003	-1,54
20	0,056	0,059	0,003	5,22
21	0,054	0,053	-0,001	-1,87
22	0,156	0,170	0,014	8,59
23	0,163	0,171	0,008	4,79
24	0,086	0,086	0,000	0,00
25	0,118	0,121	0,003	2,51
26	0,167	0,144	-0,023	-14,79
27	0,254	0,269	0,015	5,74
28	0,084	0,073	-0,011	-14,01
29	0,132	0,136	0,004	2,99
30	0,120	0,102	-0,018	-16,22
31	0,245	0,207	-0,038	-16,81
32	0,111	0,129	0,018	15,00
33	0,062	0,063	0,001	1,60
34	0,339	0,325	-0,014	-4,22
35	0,142	0,138	-0,004	-2,86
36	0,296	0,315	0,019	6,22
37	0,054	0,050	-0,004	-7,69
38	0,052	0,060	0,008	14,29
39	0,106	0,116	0,010	9,01
40	0,118	0,115	-0,003	-2,58
41	0,170	0,149	-0,021	-13,17
42	0,208	0,226	0,018	8,29
43	0,438	0,466	0,028	6,19

44	0,373	0,388	0,015	3,94
45	0,095	0,095	0,000	0,00
46	0,184	0,184	0,000	0,00
47	0,622	0,527	-0,095	-16,54
48	0,345	0,333	-0,012	-3,54
49	0,145	0,137	-0,008	-5,67
50	0,042	0,037	-0,005	-12,66
51	0,039	0,033	-0,006	-16,67
52	0,052	0,052	0,000	0,00
53	0,172	0,148	-0,024	-15,00
54	0,099	0,081	-0,018	-20,00
55	0,253	0,241	-0,012	-4,86
56	0,197	0,213	0,016	7,80
57	0,295	0,252	-0,043	-15,72
58	0,340	0,352	0,012	3,47
59	0,119	0,105	-0,014	-12,50
60	0,793	0,877	0,084	10,06
61	0,352	0,425	0,073	18,79
62	0,714	0,623	-0,091	-13,61
63	1,060	1,253	0,193	16,69
64	0,449	0,408	-0,041	-9,57
65	0,663	0,640	-0,023	-3,53
66	0,382	0,350	-0,032	-8,74
67	0,091	0,089	-0,002	-2,22
68	0,114	0,116	0,002	1,74
69	0,696	0,634	-0,062	-9,32
70	0,665	0,641	-0,024	-3,68
71	0,125	0,110	-0,015	-12,77
72	0,083	0,087	0,004	4,71
73	0,286	0,332	0,046	14,89
74	0,257	0,216	-0,041	-17,34
75	0,126	0,130	0,004	3,13
76	0,051	0,051	0,000	0,00
77	0,178	0,183	0,005	2,77
78	0,174	0,171	-0,003	-1,74
79	0,228	0,225	-0,003	-1,32
80	0,289	0,274	-0,015	-5,33
81	0,086	0,092	0,006	6,74
82	0,135	0,119	-0,016	-12,60
83	0,406	0,368	-0,038	-9,82
84	0,030	0,032	0,002	6,45
85	0,944	1,101	0,157	15,35
86	0,428	0,356	-0,072	-18,37
87	0,790	0,905	0,115	13,57
88	0,570	0,568	-0,002	-0,35
89	0,478	0,519	0,041	8,22
90	0,091	0,110	0,019	18,91
Média	0,233	0,234	0,00103	-1,42
Desvio Padrão	0,22010	0,23572	0,03930	10,41911

2) COBRE:

ID	Teor Amostra (%)	Teor Duplicata (%)	Erro Absoluto	Erro relativo - Média (%)
1	0,305	0,284	-0,021	-7,13
2	0,257	0,276	0,019	7,13
3	0,231	0,248	0,017	7,10
4	0,113	0,095	-0,018	-17,31
5	0,149	0,140	-0,009	-6,23
6	0,186	0,170	-0,016	-8,99
7	0,147	0,152	0,005	3,34
8	0,382	0,417	0,035	8,76
9	0,291	0,283	-0,008	-2,79
10	0,164	0,176	0,012	7,06
11	0,183	0,170	-0,013	-7,37
12	0,128	0,118	-0,010	-8,13
13	0,182	0,163	-0,019	-11,01
14	0,208	0,218	0,010	4,69
15	0,020	0,020	0,000	0,00
16	0,182	0,198	0,016	8,42
17	0,053	0,055	0,002	3,70
18	0,186	0,199	0,013	6,75
19	0,241	0,266	0,025	9,86
20	0,111	0,107	-0,004	-3,67
21	0,150	0,182	0,032	19,28
22	0,260	0,230	-0,030	-12,24
23	0,282	0,297	0,015	5,18
24	0,115	0,132	0,017	13,77
25	0,174	0,186	0,012	6,67
26	0,097	0,090	-0,007	-7,49
27	0,261	0,256	-0,005	-1,93
28	0,103	0,090	-0,013	-13,47
29	0,237	0,260	0,023	9,26
30	0,223	0,214	-0,009	-4,12
31	0,358	0,333	-0,025	-7,24
32	0,140	0,151	0,011	7,56
33	0,107	0,099	-0,008	-7,77
34	0,507	0,406	-0,101	-22,12
35	0,255	0,259	0,004	1,56
36	0,272	0,254	-0,018	-6,84
37	0,113	0,111	-0,002	-1,79
38	0,192	0,153	-0,039	-22,61
39	0,331	0,307	-0,024	-7,52
40	0,195	0,201	0,006	3,03
41	0,186	0,153	-0,033	-19,47
42	0,328	0,310	-0,018	-5,64
43	0,297	0,333	0,036	11,43
44	0,297	0,291	-0,006	-2,04
45	0,299	0,297	-0,002	-0,67

46	0,171	0,163	-0,008	-4,79
47	0,216	0,225	0,009	4,08
48	0,635	0,572	-0,063	-10,44
49	0,427	0,373	-0,054	-13,50
50	0,358	0,351	-0,007	-1,97
51	0,134	0,132	-0,002	-1,50
52	0,098	0,097	-0,001	-1,03
53	0,011	0,011	0,000	0,00
54	0,301	0,303	0,002	0,66
55	0,212	0,199	-0,013	-6,33
56	0,351	0,395	0,044	11,80
57	0,374	0,348	-0,026	-7,20
58	0,543	0,611	0,068	11,79
59	0,435	0,407	-0,028	-6,65
60	0,289	0,313	0,024	7,97
61	0,118	0,128	0,010	8,13
62	0,776	0,826	0,050	6,24
63	0,483	0,500	0,017	3,46
64	0,186	0,235	0,049	23,28
65	0,284	0,284	0,000	0,00
66	0,119	0,137	0,018	14,06
67	0,555	0,551	-0,004	-0,72
68	0,520	0,521	0,001	0,19
69	0,204	0,172	-0,032	-17,02
70	0,156	0,160	0,004	2,53
71	0,282	0,306	0,024	8,16
72	0,273	0,280	0,007	2,53
73	0,180	0,202	0,022	11,52
74	0,312	0,307	-0,005	-1,62
75	0,056	0,051	-0,005	-9,35
76	0,089	0,111	0,022	22,00
77	0,373	0,306	-0,067	-19,73
78	0,343	0,358	0,015	4,28
79	0,091	0,089	-0,002	-2,22
80	0,194	0,181	-0,013	-6,93
81	0,299	0,314	0,015	4,89
82	0,183	0,179	-0,004	-2,21
83	0,118	0,130	0,012	9,68
84	0,194	0,177	-0,017	-9,16
85	0,608	0,576	-0,032	-5,41
86	0,402	0,382	-0,020	-5,10
87	0,604	0,681	0,077	11,98
88	0,489	0,558	0,069	13,18
89	0,460	0,493	0,033	6,93
90	0,203	0,219	0,016	7,58
Média	0,258	0,258	0,00063	-0,08
Desvio Padrão	0,14912	0,15238	0,02761	9,52613